Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 17, No. 3, Fall. 2019, p. 389-401

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۷، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۸، ص. ۴۰۱-۳۸۹

ارزیابی جذب و کارایی مصرف نور در کشت مخلوط ذرت شیرین (*Zea mays*. Varsaccharata) و سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum*)

هانیه همافر[۱]، محمود خرمی وفا[۲*]، فرزاد مندنی[۳]، حیدر ذوالنوریان[۴]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۹/۱۸
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۸/۱۲

چکیده

اختلافات فیزیولوژیک و مورفولوژیک دو محصول اقتصادی و ارزشمند سیب‌زمینی و ذرت شیرین و همچنین عدم تداخل در برداشت، دلایل کافی و منطقی برای کشت مخلوط آن‌هاست. بااین‌حال، برای یافتن بهترین ترکیب مناسب کشت این دو گیاه، اطلاعاتی چون کارایی در مصرف منابع تولید اهمیت دارد. از این‌رو به‌منظوربررسی جذب و کارایی مصرف نور در کشت مخلوط ذرت شیرین و سیب‌زمینی، آزمایشی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار در مزرعه تحقیقاتی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی کرمانشاه در سال زراعی ۱۳۹۲ اجرا شد. تیمارهای آزمایشی در شش سطح، عبارت از الگوهای کشت مخلوط ۱:۱، ۲:۲، ۲:۱ و ۱:۲ (به‌ترتیب نشان‌دهنده ردیف‌های کاشت ذرت شیرین و سیب‌زمینی) به همراه کشت خالص آن‌ها بودند. نتایج نشان داد که شاخص سطح برگ و کارایی مصرف نور برای هر دو گیاه و در تمام الگوهای کشت مخلوط نسبت به تک‌کشتی بالاتر بود. در بین الگوهای مختلف کشت مخلوط، بیشترین کارایی مصرف نور برای هردو گیاه ذرت شیرین و سیب‌زمینی، به الگوی ۱:۲ به‌ترتیب معادل ۲/۱۸ و ۱/۸۶ گرم بر مگاژول، مربوط بود، درحالی‌که بیشترین عملکرد قابل کنسرو ذرت شیرین (۳۳۰۰ کیلوگرم در هکتار) و سیب‌زمینی (۹۴۶۰ کیلوگرم در هکتار) به‌ترتیب از الگوهای ۲:۱ و ۲:۲ به‌دست آمد. به‌طورکلی نتایج این بررسی نشان داد که کشت مخلوط ذرت شیرین و سیب‌زمینی جذب نور کارآمدتری نسبت به تک‌کشتی آن‌ها دارد، و از نظر اقتصادی، کشت دو ردیف سیب‌زمینی همراه با دو ردیف ذرت (LER=۱/۴۱) توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: بهره‌وری، کارایی مصرف منابع، الگوی کاشت

مقدمه

افزایش میزان تولیدات کشاورزی در طی دهه‌های گذشته در پی مصرف زیاد نهاده‌های شیمیایی بوده است. متأسفانه کشاورزی رایج موجب پیامدهای نامطلوبی همچون فرسایش خاک، آلودگی محیط‌زیست، ظهور و پیدایش علف‌های هرز و آفات مقاوم به سموم شیمیایی شده است. در این رابطه استفاده از سیستم‌های کشت مخلوط به‌عنوان یکی از راه‌کارهای پیشنهادی برای رفع یا تخفیف این مشکلات مطرح شده‌اند (Hauggaard-Nielsen *et al.*, 2006).

کشت مخلوط به کشت دو یا چند گیاه در یک‌زمان در یک قطعه زمین مشخص اطلاق می‌شود (Koocheki *et al.*, 2009). از مهم‌ترین ویژگی‌های کشت مخلوط در مقایسه با سیستم‌های تک‌کشتی می‌توان به افزایش کارایی مصرف منابعی چون نور اشاره کرد. چراکه به‌واسطه افزایش جذب نور، به دلیل افزایش طول دوره جذب (برتری زمانی) و یا پوشش بیشتر سطح خاک (برتری مکانی) میزان بهره‌وری در سیستم‌های زراعی افزایش می‌یابد (Awal *et al.*, 2006). این‌گونه بیان‌شده که در کشت مخلوط، جامعه گیاهی با پوشاندن زمین در زمان کوتاه‌تر، جذب و کارایی مصرف نور را به شکل مؤثری افزایش می‌دهد (Mansoori *et al.*, 2013). به‌طورکلی در صورت انتخاب درست گیاهان، حضور چند گیاه در چند کشتی، نسبت به یک گیاه در کشت خالص می‌تواند میزان بیشتری از نور رسیده به سطح زمین را جذب کرده تا درنهایت افزایش تولید ماده خشک را در پی داشته باشد (Nassiri Mahallati *et al.*, 2015).

پژوهش‌هایی که در خصوص نقش چندکشتی در جذب و کارایی مصرف نور انجام شده است، نشان از تأثیر مثبت این سیستم‌ها در خصوص بهره‌وری نور داشته است. برای نمونه کارایی جذب نور در کشت مخلوط ذرت (*Zea mays* L.) و لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) بیشتر از کشت خالص آن‌ها بود و تجمع بیشتر ماده خشک در کشت مخلوط را عمدتاً به دریافت بیشتر نور نسبت داده‌شده است (Tsubo *et al.*, 2005). همچنین در ارزیابی کشت مخلوط ذرت با سه رقم لوبیا گزارش شده است که کم‌ترین و بیش‌ترین شاخص سطح برگ و درصد جذب نور به‌ترتیب از کشت خالص ذرت و کشت مخلوط ذرت و لوبیا به‌دست‌آمده‌اند (Dabbagh Mohammadi

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد آگرو اکولوژی، دانشگاه رازی، کرمانشاه
۲ و ۳- استادیار گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه رازی، کرمانشاه
۴- مربی بازنشسته مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمانشاه
(*- نویسنده مسئول: Email: Khoramivafa@razi.ac.ir)
DOI: 10.22067/gsc.v17i3.69264

Nassab *et al.*, 2015). در بررسی کشت مخلوط ذرت و لوبیا، مشاهده شد که میزان جذب تشعشع توسط کانوپی مخلوط نسبت به کشت خالص آن‌ها بیشتر بوده است. زیرا در کشت مخلوط، سطح سایه‌انداز برای جذب تشعشع افزایش می‌یابد. بر اساس این گزارش، استفاده بهینه از منبع نوری، افزایش کارایی مصرف نور را در مخلوط ذرت و لوبیا به همراه داشته است (Mansoori *et al.*, 2013). نصیری محلاتی و همکاران اظهار داشتند که کشت مخلوط نواری ذرت و لوبیا کارایی استفاده از زمین و منابع به‌واسطه افزایش سرعت رشد محصول، سرعت رشد نسبی، عملکرد و نسبت برابری زمین، افزایش یافت. در این رابطه بهره‌وری مطلوب‌تر از منابع مصرفی در چندکشتی به بهبود میزان فتوسنتز و درنهایت افزایش وزن خشک و عملکرد در مقایسه با کشت خالص ذرت و لوبیا منجر شده است. هرچند الگوهای بیش از سه ردیف، ویژگی‌های اشاره‌شده کاهش می‌یابد (Nassiri Mahallati *et al.*, 2015). در گزارش دیگری، کارایی مصرف نور ذرت در تمام ترکیب‌های کشت مخلوط ذرت و سیب‌زمینی نسبت به کشت خالص آن‌ها افزایش یافت، هرچند کارایی مصرف نور سیب‌زمینی در شرایط کشت مخلوط کاهش یافت. سایه‌اندازی بیش‌ازحد بوته‌های ذرت روی سیب‌زمینی و کمبود نیتروژن آخر فصل، از دلایل اصلی کاهش کارایی مصرف نور سیب‌زمینی در این آزمایش گزارش شده است (Hosseinpanahi *et al.*, 2010). جذب و کارایی مصرف نور در کشت مخلوط گندم و کلزا به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر تراکم و نسبت کاشت دو گیاه قرار گرفت و الگوهای مخلوط کارایی بیشتری در مصرف در مقایسه با کشت‌های خالص داشتند. در این رابطه کشت مخلوط گندم و کلزا (*Brassica napus* L.) به‌ترتیب با تراکم ۳۰۰ و ۱۰۰ بوته در مترمربع با نسبت ۵۰–۵۰ بالاترین میزان کارایی مصرف نور گندم برابر با ۱/۹۱ گرم بر مگاژول را در پی داشت و نسبت کشت ۷۵–۲۵ با بیشترین کارایی مصرف نور کلزا معادل ۱/۲۴ گرم بر مگاژول همراه بود (Karimian *et al.*, 2015). در یک آزمایش سه‌ساله در کشت مخلوط سیب‌زمینی و لوبیا در تونس مشاهده شد که کارایی مصرف نور سیب‌زمینی بین ۷/۷ تا ۲۳/۶ درصد نسبت به کشت خالص آن افزایش یافت. دلیل اصلی این موضوع افزایش کل ماده خشک سیب‌زمینی در کشت مخلوط در مقایسه با کشت خالص آن و همچنین توزیع بهتر نور در مجموع سایه‌انداز دو گیاه بود (Rezig *et al.*, 2013). با افزایش تعداد ردیف‌ها در مخلوط ذرت و کلم، مقدار PAR برای ذرت و کلم (*Brassica oleracea* L.) به‌ترتیب روندی کاهشی و افزایشی پیدا کرد ولی بااین‌حال بین عملکرد و مقدار PAR در مخلوط، رابطه خطی مثبتی مشاهده شد. بر همین پایه کشت چهار ردیف ذرت همراه با شش ردیف کلم، بهترین ترکیب برای این مخلوط پیشنهاد شد (Wang *et al.*, 2015). علاوه بر اهمیت اقتصادی دو محصول سیب‌زمینی و ذرت شیرین، وجود اختلافات فیزیولوژیک و مورفولوژیک این دو محصول نیز دلایل کافی و منطقی برای کشت مخلوط آن‌هاست. ضمن این‌که برداشت این دو محصول نیز هیچ‌گونه خللی در دیگری ایجاد نمی‌کند. بااین‌حال، برای یافتن بهترین ترکیب مناسب کشت دو گیاه، اطلاعاتی چون کارایی در مصرف منابع تولید از اهمیت به‌سزایی برخوردار است. ازاین‌روهدف از انجام این آزمایش ارزیابی جذب و کارایی مصرف نور در کشت مخلوط ذرت شیرین و سیب‌زمینی تحت شرایط آب و هوایی کرمانشاه بود.

مواد و روش‌ها

آزمایش طی سال زراعی ۱۳۹۲ در مزرعه تحقیقاتی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی کرمانشاه در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. تیمارهای آزمایشی در شش سطح، عبارت از الگوهای کشت مخلوط ذرت شیرین (رقم Chase) با دوره رسیدگی ۷۰ تا ۸۰ روز و ارتفاع ۱۶۰ سانتی‌متر با رنگ زرد) و سیب‌زمینی (رقم Agria) با پوست کرم و گوشت زرد، رنگ گل‌ها سفید، مناسب برای فرآوری و تازه‌خوری، مقاوم به بیماری ویروسی ولی تقریباً حساس به بیماری blackleg) شامل ۱:۱ (یک ردیف ذرت و یک ردیف سیب‌زمینی)، ۲:۲ (دو ردیف ذرت شیرین و دو ردیف سیب‌زمینی)، ۲:۱ (یک ردیف ذرت شیرین و دو ردیف سیب‌زمینی)، ۱:۲ (دو ردیف ذرت شیرین و یک ردیف سیب‌زمینی)، به همراه کشت خالص دو گیاه بودند. هر کرت شامل شش ردیف کاشت به طول هفت متر با فاصله ۷۵ سانتی‌متر بود، که چهار ردیف میانی برای نمونه‌گیری در نظر گرفته شد. فاصله بوته روی ردیف نیز برای ذرت و سیب‌زمینی به‌ترتیب ۱۲ و ۲۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. به‌این‌ترتیب تراکم بوته در کشت‌های خالص ذرت و سیب‌زمینی به‌ترتیب ۱۱/۱ و ۵/۳۳ بوته در مترمربع به‌دست آمد (Raei *et al.*, 2011).

در این بررسی مصرف کود شیمیایی بر اساس نیاز غذایی سیب‌زمینی و بر اساس ویژگی‌های خاک‌شناسی مکان آزمایش با مقادیر ۲۵۰، ۱۰۰ و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار، به‌ترتیب برای اوره، سوپر فسفات تریپل و سولفات پتاسیم بود (جدول ۱). برای این منظور تمامی کود سوپر فسفات تریپل در زمان کاشت (۱۰ اردیبهشت‌ماه) به زمین اضافه گردید. همچنین دوسوم کود سولفات پتاسیم در زمان کاشت و یک‌سوم دیگر آن به‌صورت سرک و در زمان به غده رفتن سیب‌زمینی (۱۰خرداد) مصرف شد. در تمام تیمارها یک‌سوم کود اوره در زمان آماده‌سازی زمین، یک‌سوم در اوایل دوره غده‌بندی (۱۰خرداد) و یک هفته قبل از گلدهی (اول تیرماه) به‌صورت سرک مصرف گردید.

جدول ۱- برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی نمونه خاک مزرعه

Table 1- Some physical and chemical properties of soil and applied manure in the experiment

هدایت الکتریکی EC ($dS.m^{-1}$)	اسیدیته pH	بافت Texture	کربن‌آلی OC (%)	نیتروژن N (%)	پتاسیم قابل جذب Available K ($mg.kg^{-1}$)	فسفر قابل جذب Available P ($mg.kg^{-1}$)
0.6	7.4	Clay	1.5	0.04	300	5.1

کشت دو گیاه به‌صورت دستی و در اردیبهشت‌ماه انجام شد. بذور ذرت و غده‌های یک‌دست سیب‌زمینی (با وزن تقریبی ۷۰ گرم) به‌ترتیب در عمق ۵-۴ و ۱۰-۷ سانتی‌متری (Hosseinpanahi *et al.*, 2010) کشت شدند. آبیاری به‌صورت نشتی تا انتهای دوره رشد گیاهان صورت گرفت. همچنین در تمام طول دوره رشد، مزرعه علف‌های هرز به‌صورت دستی کنترل شدند. در آغاز مرحله غده‌زایی سیب‌زمینی نیز یک مرحله خاک‌دهی پای بوته‌ها انجام شد.

نمونه‌برداری‌های تخریبی از دو هفته پس از سبز شدن گیاهان آغاز شد. بدین ترتیب که در هر مرحله، از هر کرت ۳ بوته به‌صورت تصادفی از هر یک از گیاهان برداشت و جهت اندازه‌گیری سطح برگ و وزن خشک به آزمایشگاه منتقل گردید. برای اندازه‌گیری شاخص سطح برگ از دستگاه اندازه‌گیری سطح برگ (مدل LA-3000A) استفاده شد. برای تعیین وزن خشک کل نیز ابتدا نمونه‌ها (اندام هوایی همراه با غده¬ها) به مدت‌زمان کافی در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد حرارت آون قرار داده شدند و سپس توسط ترازو وزن آن‌ها اندازه‌گیری گردید. برای تخمین مقادیر مادهٔ خشک کل روزانه از برازش معادله (۱) استفاده گردید (Nassiri Mahallati *et al.*, 2015).

$$TDM = \frac{a}{(1+b\times e^{(-c\times x)})} \quad (۱)$$

در اینجا TDM؛ مادهٔ خشک کل روزانه برحسب گرم در مترمربع، a؛ حداکثر ماده خشک کل، b؛ زمانی که منحنی ماده خشک کل وارد مرحله خطی رشد خود می‌شود، c؛ سرعت رشد نسبی و x؛ زمان برحسب روز پس از سبز شدن است.

به‌منظور محاسبه کارایی مصرف نور ابتدا تعداد ساعات آفتابی برای عرض جغرافیایی کرمانشاه از نزدیک‌ترین ایستگاه هواشناسی دریافت و سپس میزان تشعشع روزانه خورشیدی به روش ارائه‌شده توسط گودریان و وانلار محاسبه گردید (Goudriaan and Van Laar, 2012). نور جذب‌شده روزانه برای کانوپی، ذرت و سیب‌زمینی نیز بر اساس معادلات زیر محاسبه شد (Tsubo *et al.*, 2005):

$$I_T = I_0 \times (1 - P)\times(1 - \exp(-K_c\times LAI_C) + (-K_p\times LAI_p)) \quad (۲)$$

$$I_C = I_T\times((K_C \times LAI_C) /((K_C\times LAI_C) + (K_p\times LAI_p)) \quad (۳)$$

$$I_p= I_T- I_C \quad (۴)$$

در اینجا I_T؛ نور جذب‌شده توسط کانوپی مخلوط (برحسب مگاژول بر مترمربع)، I_0؛ نور رسیده به بالای کانوپی (برحسب مگاژول بر مترمربع)، P؛ ضریب انعکاس نور حدود ۵ درصد و ضریب خاموشی نور ذرت (K_c) و سیب‌زمینی (K_p) به‌ترتیب معادل ۰/۶ و ۰/۸ در نظر گرفته شدند (Nassiri Mahallati *et al.*, 2015). نور جذب‌شده توسط کانوپی ذرت (I_C) و سیب‌زمینی (I_p) همچنین شاخص سطح برگ روزانه ذرت (LAI_C) و سیب‌زمینی (LAI_p) نیز از طریق برازش معادله زیر بر اساس داده‌های اندازه‌گیری شده شاخص سطح برگ محاسبه گردید (Nassiri Mahallati *et al.*, 2015)

$$LAI = a + b \times 4\times(\exp(-(x-c)/d))/1+\exp(-(x-c)/d))^2 \quad (۵)$$

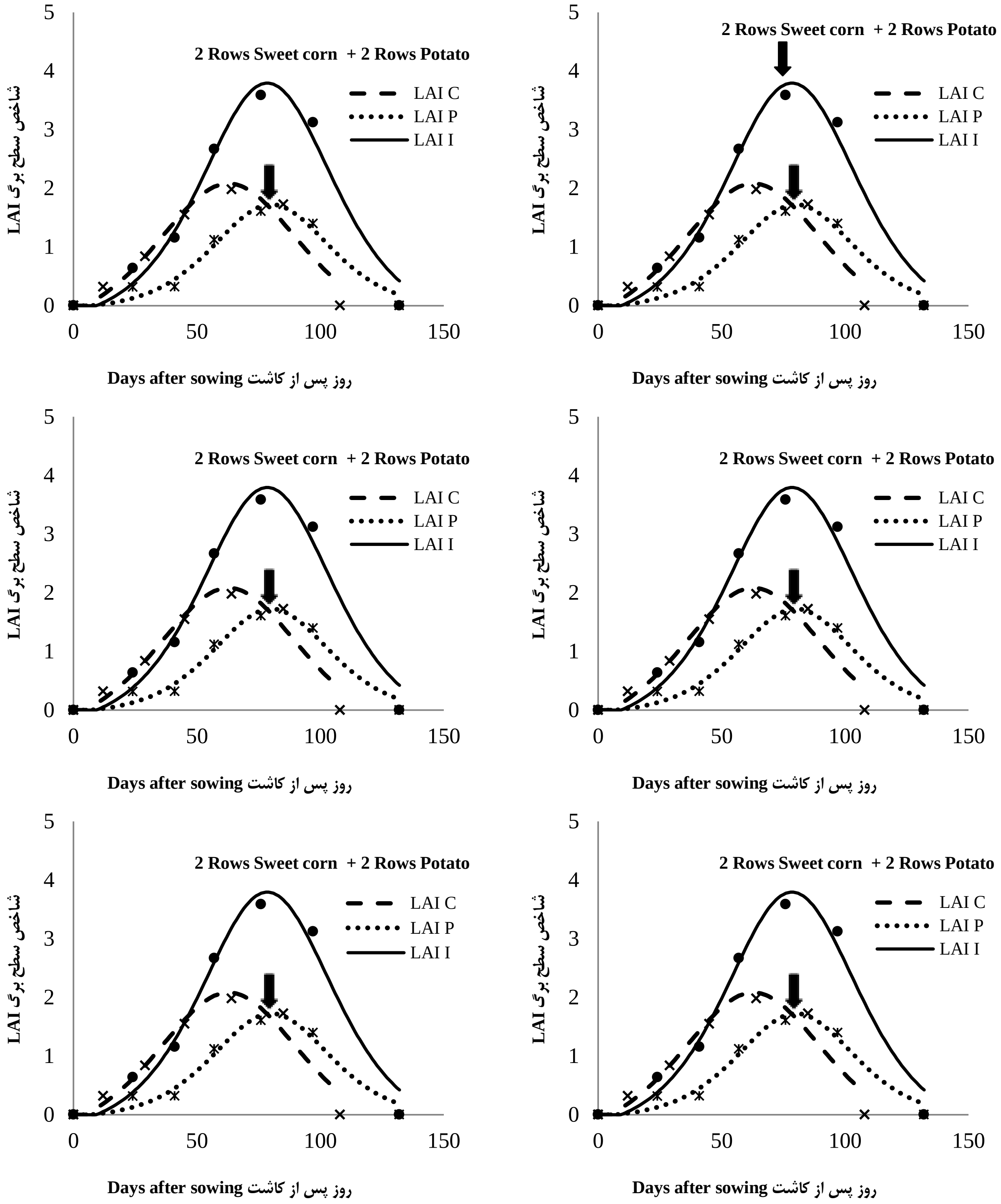
در اینجا a؛ عرض از مبدأ، b؛ زمان رسیدن به حداکثر LAI، c؛ حداکثر LAI، d؛ نقطه عطف منحنی است که در آن رشد سطح برگ وارد مرحله خطی می‌شود و x؛ زمان برحسب روزهای پس از کاشت است. نور جذب‌شده در هر مرحله نیز از حاصل‌ضرب نور ورودی شبیه‌سازی‌شده در درصد نور جذب‌شده به‌دست آمد و مقدار کل نور جذب‌شده به‌صورت تجمعی از طریق حاصل‌ضرب نور ورودی شبیه‌سازی‌شده در انتگرال کسر نور روزانه جذب‌شده نسبت به زمان محاسبه شد. در انتها، کارایی مصرف نور ذرت شیرین و سیب‌زمینی برحسب گرم بر مگاژول، از طریق محاسبه شیب خط رگرسیون بین ماده خشک کل تجمعی (گرم بر مترمربع) و میزان تشعشع روزانه خورشید به‌صورت تجمعی (مگاژول بر مترمربع) برای هر یک از کرت‌ها به‌طور جداگانه محاسبه شدند.

هنگامی‌که رطوبت دانه‌های ذرت شیرین بین ۷۵-۷۰ درصد بود، برداشت نهایی از یک مترمربع از هر کرت با رعایت اصول حاشیه به‌صورت کف‌بر انجام شد. برای تعیین عملکرد دانه قابل کنسرو، دانه‌ها از چوب بلال جدا گردید و سپس عملکرد ماده خشک کلپس از خشک کردن نمونه‌ها در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۷۲ ساعت اندازه‌گیری شد. برای سیب‌زمینی نیز یک مترمربع از هر واحد آزمایشی برای اندازه‌گیری عملکرد غده در نظر گرفته شد. تجزیه‌وتحلیل داده‌های مستخرج از آزمایش با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۴ انجام شد. مقایسه میانگین‌ها نیز توسط آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد صورت گرفت. برای برازش معادلات و رسم شکل از نرم‌افزارهای Slide Write و Excel استفاده شد.

نتایج و بحث

شاخص سطح برگ (LAI)

در ابتدای دوره رشد شاخص سطح برگ روند کندی داشت و با گذشت زمان حالت خطی پیدا کرد و درنهایت به حداکثر مقدار خود رسید و پس‌ازآن به دلیل پیری برگ‌ها و ریزش آن روند آن نزولی شد (شکل ۱).



شکل ۱- تغییرات شاخص سطح برگ در کشت‌های خالص و مخلوط ذرت شیرین و سیب‌زمینی. LAI C، LAI P، LAI I به‌ترتیب شاخص سطح برگ ذرت شیرین، سیب‌زمینی و مخلوط و فلش‌ها زمان برداشت دانه قابل کنسرو ذرت شیرین را نشان می‌دهند.

Figure 1- Trend of sweet corn and potato LAI in sole/intercropping (LAI C,LAI P,LAI I were the LAI of sweet corn, potato, intercropping respectively. The black arrows show the harvesting time for sweet corn shelled kernel)

نتایج این بررسی همچنین نشان داد که در بین الگوهای مختلف کشت‌های مخلوط، بالاترین شاخص سطح برگ به کشت دو ردیف ذرت همراه با یک ردیف سیب‌زمینی مربوط بود (۴/۱۲). کمترین شاخص سطح برگ نیزاز تیمار یک ردیف ذرت همراه با دو ردیف سیب‌زمینی به‌دست آمد (۳/۴) (شکل ۱). افزایش شاخص سطح برگ در تیمارهای کشت مخلوط نسبت به حالت تک‌کشتی می‌تواند به علت توزیع مطلوب‌تر نور توسط کانوپی ذرت باشد. در مطالعات دیگر نیز شاخص سطح برگ در کشت مخلوط نسبت به کشت خالص به دلیل وجود اثرات تسهیل‌کنندگی و تکمیل‌کنندگی ذرت و لوبیا در کنار هم افزایش داشته است. برای نمونه، شاخص سطح برگ کانوپی مخلوط ذرت و لوبیا نسبت به کشت خالص آن‌ها بیشتر بود. به‌گونه‌ای که شاخص سطح برگ ذرت به‌واسطه فراهمی نیتروژن از طریق تثبیت بیولوژیک لوبیا برای ذرت و شاخص سطح برگ لوبیا به دلیل توزیع مطلوب‌تر نور توسط کانوپی ذرت و استفاده لوبیا از ذرت به‌عنوان قیم افزایش یافته است (Koocheki *et al.*, 2009). همچنین افزایش تراکم روی ردیف کشت به دلیل ایجاد کانوپی بسته‌تر، عامل افزایش شاخص سطح برگ ذرت در کشت مخلوط آن با لوبیا گزارش شده است (Rostami *et al.*, 2011)

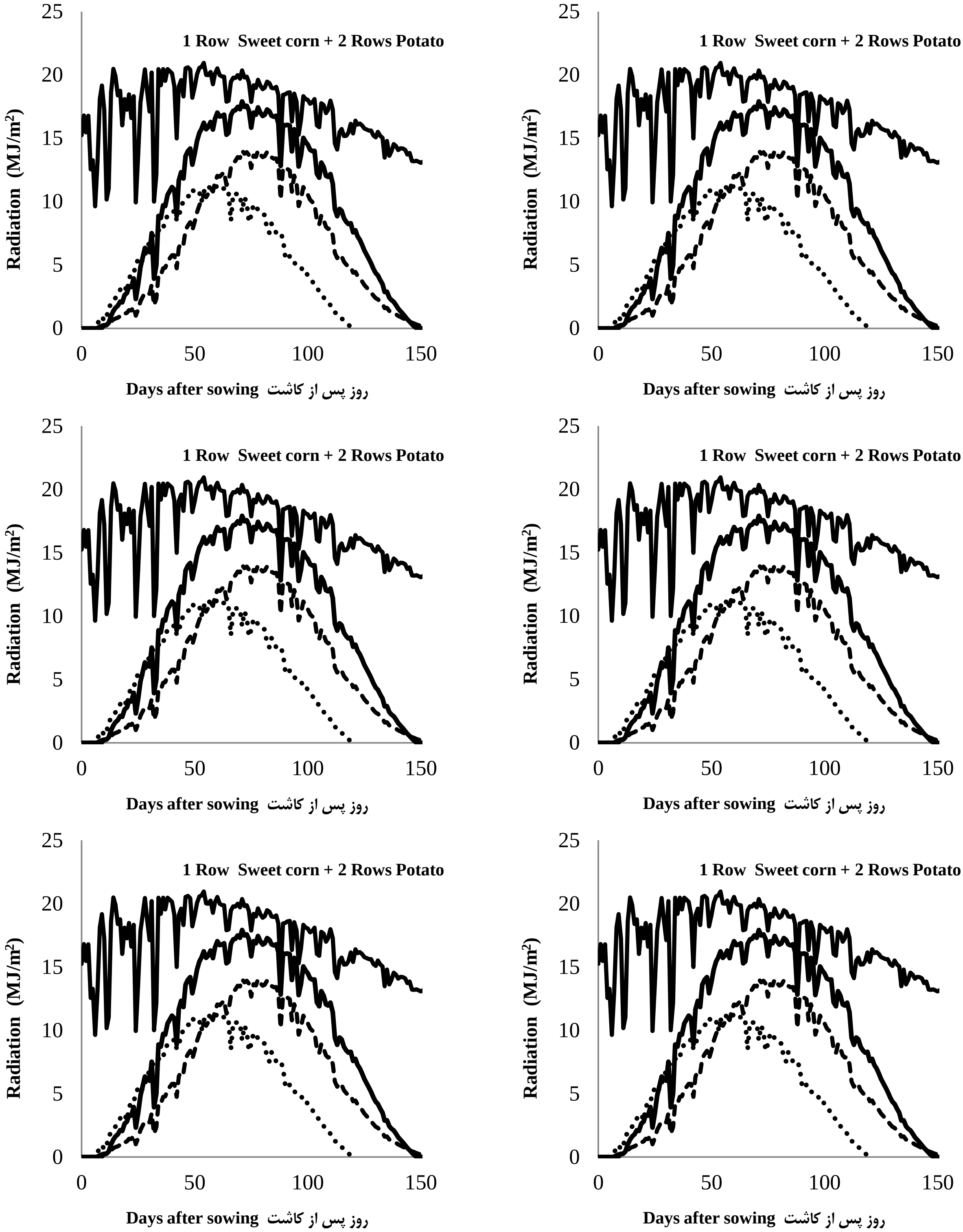
روند جذب نور

متناسب با افزایش شاخص سطح برگ میزان نور جذب‌شده توسط کانوپی ذرت، سیب‌زمینی و کشت مخلوط آن‌ها نیز به‌تدریج افزایش یافت و به حداکثر میزان خود رسید، سپس در انتهای دوره رشد روند نزولی داشت (شکل ۲). افزایش جذب نور را می‌توان به افزایش شاخص سطح برگ در کانوپی مخلوط نسبت داد (Ahmadvand, 2006). بالاترین مقدار جذب نور در کشت مخلوط دو گیاه در الگوی کشت دو ردیف ذرت شیرین همراه با یک ردیف سیب‌زمینی به‌دست آمد (شکل ۲).

تفاوت اصلی در دریافت نور با سایر منابع محیطی در این است که نور قابل ذخیره شدن نیست، بنابراین سیستمی در جذب نور موفق‌تر است که بتواند از نور رسیده به سطح کانوپی حداکثر استفاده را به عمل بیاورد. یک برگ یا کانوپی حتی در تراکم‌های مطلوب در کشت خالص نمی‌تواند به‌طور کامل از نور خورشید استفاده نماید (Keating and Carberry, 1993). بر اساس یافته‌های به‌دست‌آمده از این آزمایش، جذب نور در کانوپی کشت‌های مخلوط ذرت شیرین و سیب‌زمینی نسبت به کشت خالص آن‌ها بیشتر بود که می‌تواند به دلیل تغییر ساختار کانوپی آن‌ها در مجاورت یکدیگر باشد. حضور سیب‌زمینی در زیر کانوپی ذرت شیرین به جذب طول‌موج‌های انتقال‌یافته و منعکس‌شده توسط کانوپی ذرت شیرین و در پی آن باعث افزایش جذب نور کانوپی کشت مخلوط نسبت به کشت خالص می‌شود. برخی محققان نیز افزایش جذب سایر منابع مصرفی ازجمله نور را در کشت مخلوط نسبت به کشت خالص گزارش کرده‌اند (Rodrigo *et al.*, 2001; Willey, 1990). آن‌ها همچنین، اظهار داشتند که استفاده از سیستم کشت مخلوط یک امر ضروری برای بهبود کارایی جذب و مصرف منابع برای توسعه پایدار تولید محصولات زراعی است.

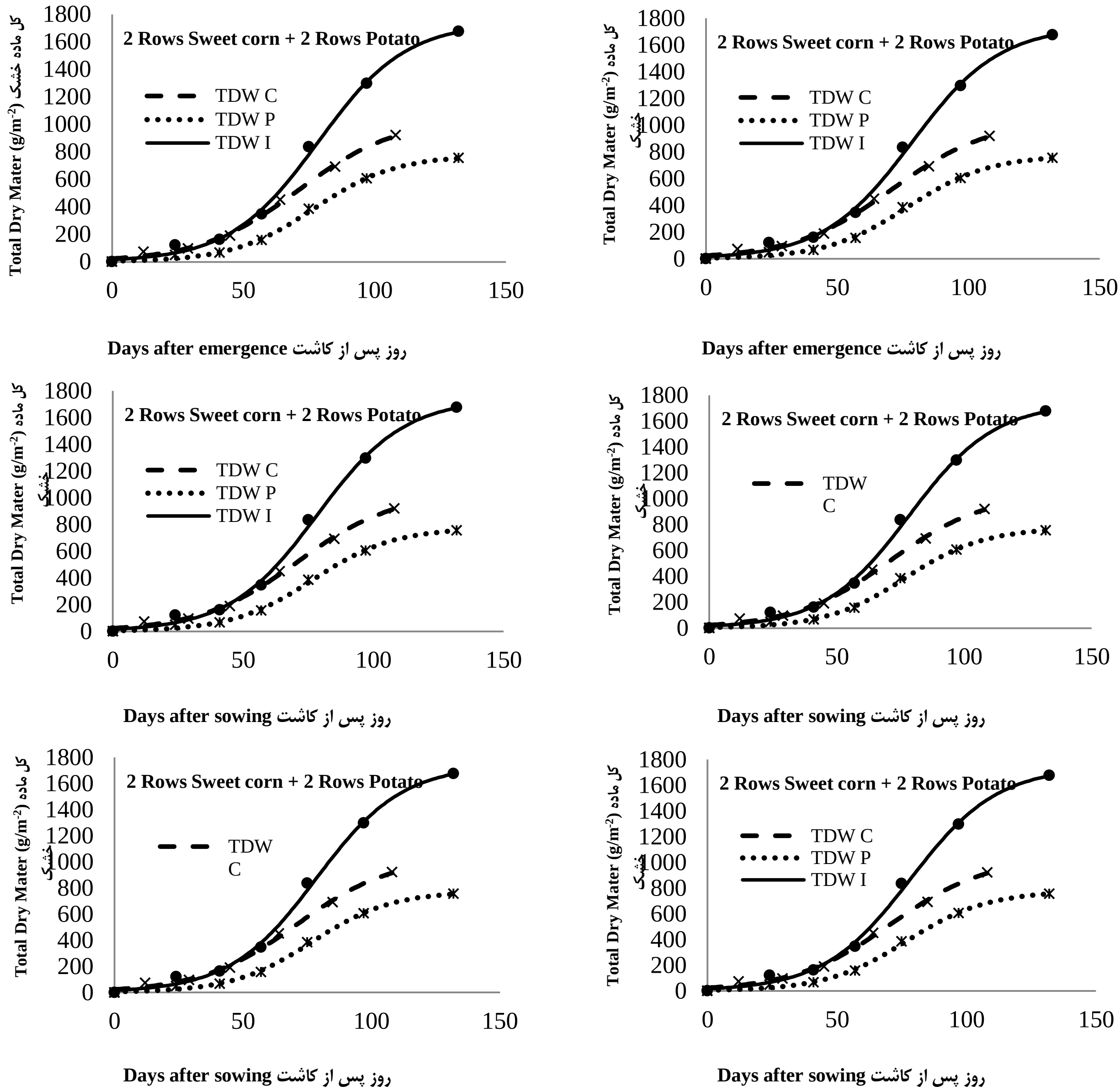
روند تجمع ماده خشک

به دلیل کوچک بودن بوته‌ها در ابتدای دوره رشد، اختلاف چندانی در روند تغییر تجمع ماده خشک بین کشت‌های مخلوط ذرت و سیب‌زمینی و کشت خالص آن‌ها مشاهده نشد، اما از حدود ۳۰ روز پس از کاشت با بزرگ شدن بوته‌ها روند تجمع ماده خشک وارد مرحله خطی گردید و به حداکثر مقدار خود رسید و درنهایت روند تقریباً ثابتی را در پیش گرفت و اختلاف بین کشت‌های مخلوط و خالص مشهود گردید (شکل ۳). بر اساس نتایج این آزمایش، در اکثر الگوهای کشت‌های مخلوط سهم ذرت شیرین در افزایش ماده خشک بیشتر از سیب‌زمینی بود که با نتایج دیگر محققان (Anil *et al.*, 1998; Wall *et al.*, 1991) مطابقت داشت. بیشترین تجمع ماده خشک دو گیاه از کشت دو از کشت دو ردیف ذرت شیرین همراه با یک ردیف سیب‌زمینی (۱۷۴۵/۵۵ گرم در مترمربع) به‌دست آمد. بر همین اساس به نظر می‌رسد افزایش نور جذب‌شده توسط کانوپی مخلوط در مقایسه با کشت خالص، به بهبود سرعت رشد محصول و در نهایت تجمع ماده خشک کل منجر گردید. در این رابطه گزارش شده است که افزایش میزان تجمع ماده خشک در کشت مخلوط گونه‌های زراعی بیشتر به دلیل بهبود ظرفیت گونه‌های زراعی برای افزایش جذب و مصرف فیزیولوژیکی منابع توسط آن‌ها حاصل می‌شود (Rostami *et al.*, 2011). نصیری محلاتی و همکاران (Nassiri Mahallati *et al.*, 2015) دریافتند که در تیمارهای کشت مخلوط ذرت و لوبیا، میزان تجمع ماده خشک کل بالاتر از تیمارهای تک‌کشتی بود. همچنین در تحقیقی دیگر کوچکی و همکاران (Koocheki *et al.*, 2009) نشان دادند که بهبود نور جذب‌شده توسط کانوپی کشت مخلوط ذرت و لوبیا، بهبود ماده خشک تولید شده را در مقایسه با شرایط تک‌کشتی این گیاهان ایجاد کرد.



شکل ۲- میزان جذب تشعشع توسط کانوپی در کشت‌های خالص و مخلوط ذرت شیرین و سیب‌زمینی

Figure 2- Radiation absorbed by conopy in sweet corn and potato sole/intercropping



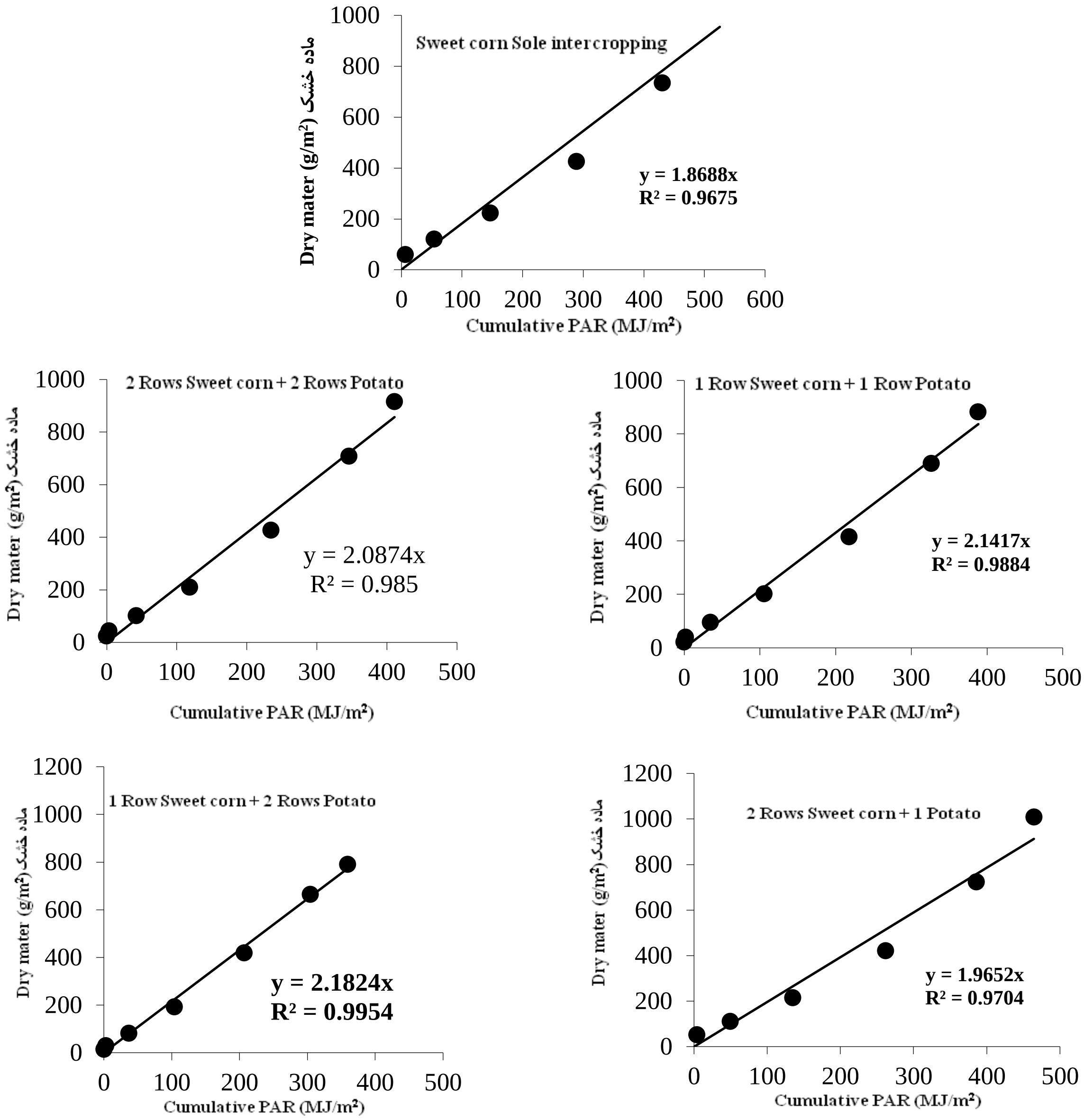
شکل ۳- تغییرات تجمع ماده خشک در کشت‌های خالص و مخلوط ذرت شیرین و سیب‌زمینی. TDW C، TDW P، TDW I به‌ترتیب ماده خشک ذرت شیرین، سیب‌زمینی و مخلوط را نشان می‌دهد.

Figure 3- Trend of sweet corn and potato dry mater accumulation in sole/intercropping. (TDW C ،TDW P ،TDW I, show dry mater of sweet corn, potato and intercropping respectively)

کارایی مصرف نور ذرت شیرین

در تمامی الگوهای کشت مخلوط و کشت خالص، مقدار ماده خشک ذرت شیرین با ضریب تبیین بیشتر از ۰/۹ارتباط خطی با میزان نور جذب‌شده داشت (شکل ۴). همچنین شیب روابط خطی به‌عنوان میزان کارایی مصرف نور ذرت شیرین، در کشت‌های مخلوط با سیب‌زمینی بالاتر از کشت‌های خالص آن بود (شکل ۴). این موضوع ممکن است به دلیل توزیع بهتر نور در کانوپی مخلوط باشد. بیش‌ترین کارایی مصرف نور ذرت شیرین در بین الگوهای مختلف کشت مخلوط برابر با ۲/۱۸ گرم بر مگاژول، به تیمار یک ردیف ذرت شیرین و دو ردیف سیب‌زمینی مربوط بود و کمترین آن از کشت دو ردیف ذرت شیرین و یک ردیف سیب‌زمینی برابر با ۱/۹۶ گرم بر مگاژول به‌دست آمد (شکل ۴). به‌طورکلی با افزایش تعداد ردیف‌های ذرت شیرین و نزدیک‌تر شدن آن به کشت خالص، از میزان کارایی مصرف نور نیز کاسته شد. در مخلوط ذرت با گیاهانی که ارتفاع کمتری دارند ساختار هندسی کانوپی ذرت و میزان جذب نور آن تحت تأثیر گیاه همراه قرار نمی‌گیرد، زیرا ذرت گیاه غالب است و بخش عمده جذب

نور خود را از لایه‌های بالاتر گیاه همراه جذب می‌کند (Awal *et al.*, 2006; Tsubo *et al.*, 2005). همچنین توزیع بهتر نور در کانوپی ذرت، افزایش کارایی مصرف نور را در پی دارد (Beheshti *et al.*, 2002).



شکل ٤- ارتباط بین مجموع تشعشع فعال فتوسنتزی و تجمع ماده خشک ذرت در کشت خالص و مخلوط با سیب‌زمینی

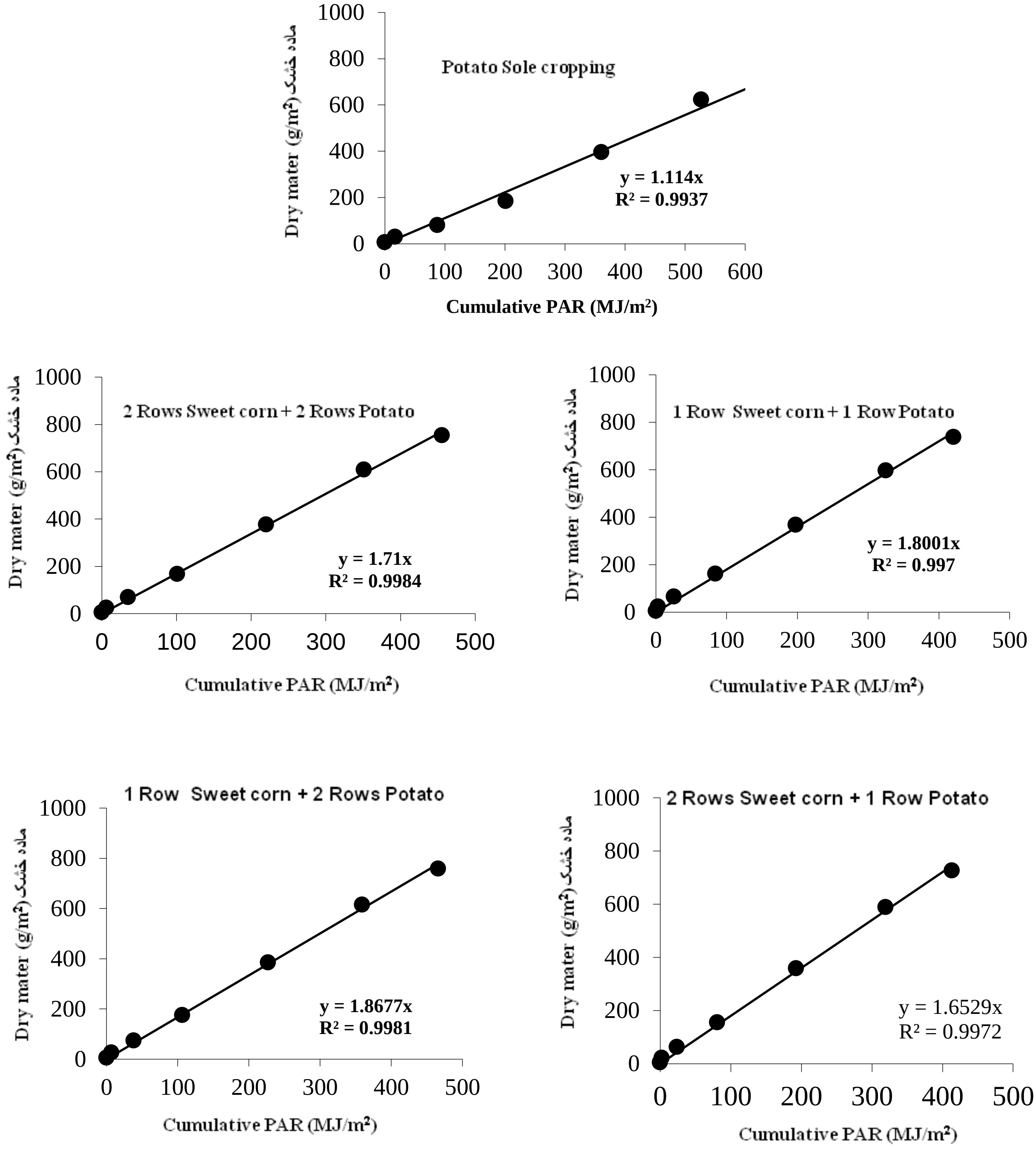
Figure 4- The relationship between cumulative absorbed PAR and sweet corn dry matter in sole crop and intercropped with potato

کارایی مصرف نور سیب‌زمینی

بر اساس نتایج به‌دست‌آمده همانند ذرت شیرین، مقدار ماده خشک سیب‌زمینی ارتباط خطی با میزان نور جذب‌شده داشت و تمامی الگوها ضریب تبیین بیشتر از ۰/۹ داشتند (شکل ۵). همچنین میزان کارایی مصرف نور سیب‌زمینی، در کشت‌های مخلوط بیشتر از کشت خالص آن بود (شکل ۵). برخلاف ذرت شیرین، افزایش تعداد ردیف‌های سیب‌زمینی کارایی بیشتری را در مصرف نور در پی داشت. بیشتر شدن کارایی مصرف نور سیب‌زمینی با افزایش تعداد ردیف در کشت مخلوط ممکن است به دلیل افزایش توان رقابتی سیب‌زمینی با ذرت شیرین باشد. بالاترین کارایی مصرف نور از کشت یک ردیف ذرت شیرین و دو ردیف سیب‌زمینی برابر با ۱/۸۶ گرم بر مگاژول به‌دست آمد (شکل ۵). میزان کارایی مصرف سیب‌زمینی بین ۱/۲۷ گرم بر مگاژول (در کشت مخلوط یک‌درمیان با ذرت) و ۱/۴۷ گرم بر مگاژول (در کشت خالص) گزارش شده است (Hosseinpanahi *et al.*, 2010).

نسبت برابری زمین در کشت مخلوط ذرت شیرین و سیب‌زمینی

بر اساس نتایج به‌دست‌آمده میزان نسبت برابری زمین در تمامی الگوهای کشت مخلوط بالاتر از ۱ بود. در همین رابطه کشت دو ردیف ذرت شیرین همراه با دو ردیف سیب‌زمینی بالاترین نسبت برابری زمین را به‌دست داد (جدول ۲). میزان عملکرد اضافه به‌دست‌آمده (عملکرد قابل کنسرو ذرت شیرین و غده سیب‌زمینی) را می‌توان به استفاده بهتر دو گیاه از نور و اختلافات مرفولوژیک و فیزیولوژیک بین آن‌ها نسبت داد. بررسی نسبت‌های برابری جزئی نشان داد که ذرت شیرین رقیب قوی‌تری نسبت به سیب‌زمینی بوده است و سیب‌زمینی تأثیر بیشتری از مخلوط پذیرفته است. بیشترین عملکرد قابل کنسرو ذرت شیرین (۳۳۰۰ کیلوگرم در هکتار) و سیب‌زمینی (۹۴۶۰ کیلوگرم در هکتار) نیز به‌ترتیب از الگوهای ۲:۱ و ۲:۲ به‌دست آمد (جدول ۲).



شکل ۵- ارتباط بین مجموع تشعشع فعال فتوسنتزی و تجمع ماده خشک سیب‌زمینی در کشت خالص و مخلوط با ذرت شیرین

Figure 5- The relationship between cumulative absorbed PAR and potato dry matter in sole crop and intercropped with sweet corn

جدول ۲- نسبت برابری زمین و عملکرد ذرت‌شیرین و سیب‌زمینی در کشت‌های مخلوط و خالص
Table 2- Land equivalent ratio (LER) and yield of sweet corn and potato in sole and intercropping

الگوی کاشت Cultivation pattern	عملکرد Yield (kg.ha^{-1})		نسبت برابری جزئی زمین Partial LER		نسبت برابری زمین LER
	ذرت شیرین Sweet corn	سیب‌زمینی Potato	ذرت شیرین Sweet corn	سیب‌زمینی Potato	
کشت خالص ذرت شیرین/سیب‌زمینی Sweet corn/Potato Sole cropping	3600	17130.55	-	-	-
یک ردیف ذرت شیرین+ یک ردیف سیب‌زمینی 1 Row Sweet corn + 1 Row Potato	2600	7960.52	0.72	0.46	1.18
دو ردیف ذرت شیرین+ دوردیف سیب‌زمینی 2 Rows Sweet corn + 2 Rows Potato	3100	9460.33	0.86	0.55	**1.41**
دو ردیف ذرت شیرین+ یک ردیف سیب‌زمینی 2 Rows Sweet corn + 1 Row Potato	3300	4940.81	0.91	0.29	1.19
یک ردیف ذرت شیرین+ دو ردیف سیب‌زمینی 1 Row Sweet corn + 2 Rows Potato	2200	12590.99	0.61	0.73	1.34

نتیجه‌گیری

به‌طورکلی بر پایه یافته‌های به‌دست‌آمده از این آزمایش، می‌توان اظهار داشت که کشت مخلوط ذرت شیرین و سیب‌زمینی به بهبود شاخص سطح برگ، تجمع ماده خشک، میزان جذب نور و کارایی مصرف نور ذرت شیرین و سیب‌زمینی منجر شده است. علاوه براین مقادیر به‌دست‌آمده از شاخص نسبت برابری زمین نیز نشانگر مناسب بودن کشت مخلوط این دو گیاه است. در این ارتباط از دید اقتصادی، کشت دو ردیف سیب‌زمینی همراه با دو ردیف ذرت توصیه می‌شود.

هرچند برای پیشنهاد بهترین الگوی کشت مخلوط این دو گیاه، باید میزان و کارایی مصرف آب نیز مورد بررسی قرار گیرد. ازآن‌جایی‌که بررسی نسبت‌های جزئی برابری زمین، نشان داد که ذرت شیرین رقیب قوی‌تری نسبت به سیب‌زمینی است، می‌توان با کاشت زودتر سیب‌زمینی و افزایش توان رقابتی آن در برابر ذرت، عملکرد بهتری از کشت مخلوط این دو گیاه به‌دست آورد همچنین می‌توان مقایسه سایر ارقام ذرت شیرین و سیب‌زمینی از نظر دوره رسیدگی و یا بررسی تراکم‌های متفاوت برای دو گیاه را پیشنهاد نمود.

References

1. Ahmadvand, A., Nassiri- Mahalati, M., and Koocheki, A. 2006. Effect of light competition and nitrogen fertilizer on canopy structure of wheat and wild oat. Journal of Agricultural Science and Natural Resourse 12: 100-112. (in Persian with English abstract).
2. Anil, L., Park, J., Phipps, R., and Miller, F. 1998. Temperate intercropping of cereals for forage: a review of the potential for growth and utilization with particular reference to the UK. Grass and Forage Science 53: 301-317.
3. Awal, M., Koshi, H., and Ikeda, T. 2006. Radiation interception and use by maize/peanut intercrop canopy. Agricultural and forest meteorology 139: 74-83.
4. Beheshti, A., Koocheki, A., and Nassiri Mahallati, M. 2002. The effect of planting pattern on light interception and radiation use efficiency in canopy of three maize cultivars. Seed and Plant Improvment Journal 18: 417-431. (in Persian with English abstract).
5. Dabbagh Mohammadi Nassab, A., Amini, R., and Tamar, E. 2015. Evaluation of maize and three cultivars of common bean intercropping with application of biofertilizers and chemical fertilizers. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production 25: 99-113. (in Persian with English abstract).
6. Goudriaan, J., and Van Laar, H. 2012. Modeling potential crop growth processes: textbook with exercises. Springer Science and Business Media.
7. Hauggaard-Nielsen, H., Andersen, M. K., Joernsgaard, B., and Jensen, E. S. 2006. Density and relative frequency effects on competitive interactions and resource use in pea–barley intercrops. Field Crops Research 95: 256-267.
8. Hosseinpanahi, F., Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., and Ghorbani, R. 2010. Evaluation of radiation absorption and use efficiency in potato/corn intercropping. Journal of Agroecology 2: 50-60. (in Persian with English abstract).
9. Karimian, K., Ghorbani, R., Koochaki, A. R., and Asadi, Gh. A. 2015. Investigating of radiation absorption and use efficiency in intercropping of wheat and canola. International Journal of Life Sciences 9: 61-71.
10. Keating, B., and Carberry, P. 1993. Resource capture and use in intercropping: solar radiation. Field Crops Research 34: 273-301.

11. Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., Mondani, F., Feyzi, H., and Amirmoradi, S. 2009. Evaluation of radiation interception and use by maize and bean intercropping canopy. Journal of Agroecology 1: 13-23. (in Persian with English abstract).
12. Mansoori, H., Mansoori, L., Jamshidi, K., Rastgoo, M., and Moradi, R. 2013. Radiation absorption and use effficiency in additive intercropping of maize and bean in Zanjan region. Journal of Crop Production and Processing 3: 15-27. (in Persian with English abstract).
13. Nassiri Mahallati, M., Koocheki, A., Mondani, F., Amirmoradi, S., and Fayzi, H. 2015. Evaluation of physiological indices of growth in corn (*Zea mays* L.) and bean (*Phaseolus vulgaris* L.) Iranian Journal of Field Crops Research 13: 14-23. (in Persian with English abstract).
14. Raei, Y., Bolandnazar, S., and Dameghsi, N. 2011. Evaluation of common bean and potato densities effects on potato tuber yield in mono-cropping and intercropping systems. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production 21: 131-142.
15. Rezig, M., Sahli, A., Hachicha, M., Jeddi, F. B., and Harbaoui, Y. 2013. Potato (*Solanum tuberosum* L.) and bean (*Phaseolus vulgaris* L.) in sole intercropping: effects on light interception and radiation use efficiency. Journal of Agricultural Science 5: 65.
16. Rodrigo, V., Stirling, C., Teklehaimanot, Z., and Nugawela, A. 2001. Intercropping with banana to improve fractional interception and radiation-use efficiency of immature rubber plantations. Field Crops Research 69: 237-249.
17. Rostami, L., Koocheki, A., and Nassiri Mahalati, M. 2011. The effect of different crop plant densities on radiation absorption and use efficiency by corn (*Zea mays*) and bean (*Phaseolous vulgaris* L.) intercropped canopy. Journal of Agroecology 3: 290-297. (in Persian with English abstract).
18. Tsubo, M., Walker, S., and Ogindo, H. 2005. A simulation model of cereal–legume intercropping systems for semi-arid regions: I. Model development. Field Crops Research 93: 10-22.
19. Wall, G., Pringle, E., and Sheard, R. 1991. Intercropping red clover with silage corn for soil erosion control. Canadian Journal of Soil Science 71: 137-145.
20. Wang, Q., Sun, D., Hao, H., Zhao, X., Hao, W., and Liu, Q. 2015. Photosynthetically active radiation determining yields for an intercrop of maize with cabbage. European Journal of Agronomy 69: 32-40.
21. Willey, R. 1990. Resource use in intercropping systems. Agricultural Water Management 17: 215-231.

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 17, No. 3, Fall. 2019, p. 389-401

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۷، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۸، ص. ۴۰۱-۳۸۹

Evaluation of Radiation Absorption and Use Efficiency in intercropped Sweet corn (*Zea mays* Var. saccharata) with Potato (*Solanum tuberosum*)

H. Homafar[1], M. Khoramivafa[2*], F. Mondani[2], H. Zolnurian[3]

Received: 09-12-2017
Accepted: 03-11-2018

Introduction

Intercropping is one of the suitable management methods in crops production that improves absorption and use efficiency of resources by plants. Higher production in intercropping systems compared to sole cropping systems is attributed to morphological differences and different needs of the plants to utilize of environmental resources such as light, water and nutrients. There are the adequate logical and reasonable grounds to intercropping of potato and sweet corn because of their economic importance and physiological and morphological differences. Furthermore, harvesting of these crops had not any disorder. While, access to information such as resources use efficiency is need to find the best intercropping combination. Then the objective of this study was evaluation of radiation absorption and use efficiency (RUE) of sweet corn (*Zea mays*. Var. saccharata) intercropped with potato (*Solanum tuberosum*) under Kermanshah climate condition.

Materials and Methods

The experiment was conducted based on a randomized complete block design with three replications in the research farm of campus of agriculture and natural resources, Razi University, Kermanshah, Iran during the growing season of 2013. Treatments were included the intercropping of sweet corn (Chase) and potato (Agria) with 1:1, 2:2, 2:1, 1:2 ratios (that shows the sweet corn and potato rows, respectively) along with sole cropping of sweet corn and potatoes. Planting intra rows spacing were 13 and 25 cm for sweet corn and potato respectively. Planting inter rows were 75 cm with 7 m long for both crops. The destruction sampling was done at two weeks after emergence. In every stage, three plants were selected from each plot randomly. Absorbed radiation was calculated by simulated entrance radiation and absorbed radiation percent multiply: and cumulative total absorbed radiation was obtained by simulated entrance radiation× integral of absorbed daily radiation to time ratio. Ultimately, RUE of sweet corn and potato was evaluated as g MJ^{-1} by linear regression slope between total accumulative dry mater (g m^{-2}) and accumulative daily radiation (MJ m^{-2}) for each plot individually.

Results and Discussion

Results showed that leaf area index (LAI) was higher in all intercropping treatments than sole cropping. Among intercropping patterns, the highest and lowest LAI were observed in 2 rows sweet corn + 1 row potato (4.12) and 1 row sweet corn + 2 rows potato (3.4), respectively. Also dry mater accumulation trend was affected by intercropping patterns and radiation absorption increased by sweet corn and potato canopy appropriate to LAI rising. RUE of sweet corn and potato in intercropping was higher than of sole cropping. Among different intercropping patterns, the highest amount of sweet corn RUE were 2.18 and 1.86 g MJ^{-1} ,respectively that obtained in intercropping of 1 row sweet corn +2 rows potato. The highest sweet corn shelled kernel for conserving (3300 kg ha^{-1}) and potato yield (9460 k ha^{-1}) were obtained in 2 row sweet corn + 1 rows potato and 2 row sweet corn + 2 rows potato, respectively. On the contrary, increasing the number of potato rows resulted in higher RUE. Results also showed that land equivalent ratios were bigger than 1 in all intercropping patterns. Pattern of 2 rows sweet corn + 1 row potato, was recommended with the highest LER (1.41) economically. The additional obtained yield can attribute to better radiation use because of the morphological and physiological differences between sweet corn and potato. There was no considerable dissimilarity in dry matter accumulation trend between intercropping of sweet corn with potato and their sole cropping because of little plants in early growth season. However, the dry mater trend continued as linear stage at 30 days after sowing date as the differences were appeared between intercropping and sole cropping plots.

Conclusions

Compared to sole cropping, results of present study showed that the intercropping of sweet corn and potato resulted in LAI improvement, dry matter rising, more efficiency in radiation absorption and increasing of

1- Former Student of Agroecology, Razi University
2- Assistant Professor, Department of Plant Production and Genetics, Razi University
3- Retired trainer of Agricultural and Natural Resources Research Center of Kermanshah Province
(*- Corresponding Author Email: Khoramivafa@razi.ac.ir)

radiation use efficiency. Also this intercropping is recommended economically based on obtained LERs. Therefore, this study suggests the intercropping of 2 rows sweet corn + 2 rows potato economically. However, the water consumption and water use efficiency must be investigated to choose the best intercropping pattern.

Keywords: Cultivation pattern**,** Productivity, Resources use efficiency